



“十三五”高等职业教育专业核心课程规划教材·机电大类

线切割编程与加工

主编 刘晓青 张晨亮

主审 侯晓方 李周平 高会文



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



“十三五”

课程规划教材·机电大类

线切割编程与加工

主编 刘晓青 张晨亮

主审 侯晓方 李周平 高会文

常州大学图书馆
藏书章



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书内容包括四章,第一章讲述凸模类零件的编程与加工,第二章讲述凹模类零件的编程与加工,第三章讲述组合体零件的编程与加工,第四章讲述异形类零件的编程与加工。每种零件都根据企业生产实际需要,以数控线切割加工工艺编制为主线进行教学设计,对加工编程方法、工艺装备、加工工艺设计、结构与技术分析方面进行了详细讲解。本书的主要特点是:“构架:项目化;讲授:一体化;实施:信息化;内容:技能化”于一体,强调内容的实用性、实践性、先进性,紧密联系生产加工,强化学生实践技能操作。

本书可以作为高等职业技术学院数控技术、机械制造与自动化、模具设计与制造及机电一体化专业用书,也可作为与之相关专业师生及相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

线切割编程与加工/刘晓青,张晨亮主编. —西安:
西安交通大学出版社,2016.1
“十三五”高等职业教育专业核心课程规划教材
ISBN 978-7-5605-8242-9

I. ①线… II. ①刘…②张… III. ①数控线切割-
程序设计-高等教育-教材②数控线切割-加工-高
等职业教育-教材 IV. ①TG481

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 012059 号

书 名 线切割编程与加工
主 编 刘晓青 张晨亮
策划编辑 雷萧屹
责任编辑 雷萧屹
责任校对 李文

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西丰源印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 14.25 字数 345 千字
版次印次 2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-8242-9/TG·86
定 价 38.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82668254 QQ:8377981

读者信箱:lg_book@163.com

版权所有 侵权必究

前 言

本书以国家职业标准和企业要求为出发点,针对高等职业院校机械类专业,根据课程改革四化要求编写。落实“构架:项目化;讲授:一体化;实施:信息化;内容:技能化”于一体,在“做中学、做中教”;突出:“实用为主,够用为度”,参考数据线切割加工自动编程,数控电火花线切割加工技术,数控线切割操作工技能鉴定考核培训教程,数控线切割机床操作指南等书籍编写而成。

本书以引导学生为主,在线切割加工的基础上应用多种实例,详细地介绍了线切割机床的编程与操作。通过学习本书内容,学生可以具备线切割机床程序编程和加工调试的能力,从而更好地适应现代化制造业的发展。

本书按照数控线切割编程与加工技能要求,遵循学生的认识规律,从简单到复杂,设计了四章,每章讲一种典型零件的编程与加工,涉及了该种零件加工的工艺、分析、装备、加工选择等内容,以典型编程实例加以说明。本书知识点实用性和技能操作性强,并配套相应实训报告,以任务驱动为核心强化学生对知识和技能的掌握。

本书由陕西国防工业职业技术学院刘晓青,张晨亮主编。编写分工如下:刘晓青编写前言、第1章、第2章,并完成全书的提纲编写、统稿等工作;张晨亮编写第3章、第4章。

全书由陕西国防工业职业技术学院侯晓方副教授、李周平副教授、西北工业集团高会文高级工程师主审,他们提出了很多宝贵意见,编者在此表示衷心感谢。

在编写本书过程中,编者参阅和引用了有关院校、工厂、科研院所的一些资料和文献,并到相关企业进行了调研、培训,得到了许多专家、教授、工程技术人员的支持和帮助,在此深表感谢。此外,在编写本书过程中还参考了多部数控加工技术、数控加工工艺、数控加工编程等方面的著作,在此对相关作者表示深深的谢意。

由于编者水平所限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正,以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议,恳请向编者(94202239@qq.com)提出。

编者

2015年6月

目 录

前言

第 1 章 凸模类零件的编程与加工	(1)
1.1 凸模类零件的结构与技术分析	(1)
1.2 凸模零件的工艺装备	(4)
1.3 凸模零件加工工艺设计	(8)
1.4 凸模零件加工编程方法	(14)
1.5 凸模零件编程与加工案例分析	(18)
1.6 知识拓展	(32)
本章小结	(42)
第 2 章 凹模类零件的编程与加工	(50)
2.1 凹模类零件的结构与技术分析	(50)
2.2 凹模零件的工艺装备	(53)
2.3 凹模零件加工工艺设计	(65)
2.4 凹模零件加工编程方法	(68)
2.5 凹模零件编程与加工案例分析	(71)
2.6 知识拓展	(78)
本章小结	(108)
第 3 章 组合体零件的编程与加工	(113)
3.1 组合体零件的结构与技术分析	(113)
3.2 组合体零件的工艺装备	(114)
3.3 组合体零件加工工艺设计	(130)
3.4 组合体零件加工编程方法	(135)
3.5 组合体零件编程与加工案例分析	(136)
3.6 知识拓展	(138)
本章小结	(149)
第 4 章 异形类零件的编程与加工	(156)
4.1 异形零件的结构与技术分析	(156)
4.2 异形零件的工艺装备	(177)
4.3 异形零件加工工艺设计	(177)

目 录

4.4 异形零件加工编程方法	(182)
4.5 异形零件编程与加工案例分析	(194)
4.6 知识拓展	(209)
本章小结	(212)
附录 I 高速走丝电火花线切割加工工艺数据表	(214)
附录 II FW 线切割机床代码一览表	(219)
参考文献	(221)
(1)	
(2)	
(3)	
(4)	
(5)	
(6)	
(7)	
(8)	
(9)	
(10)	
(11)	
(12)	
(13)	
(14)	
(15)	
(16)	
(17)	
(18)	
(19)	
(20)	
(21)	
(22)	
(23)	
(24)	
(25)	
(26)	
(27)	
(28)	
(29)	
(30)	
(31)	
(32)	
(33)	
(34)	
(35)	
(36)	
(37)	
(38)	
(39)	
(40)	
(41)	
(42)	
(43)	
(44)	
(45)	
(46)	
(47)	
(48)	
(49)	
(50)	
(51)	
(52)	
(53)	
(54)	
(55)	
(56)	
(57)	
(58)	
(59)	
(60)	
(61)	
(62)	
(63)	
(64)	
(65)	
(66)	
(67)	
(68)	
(69)	
(70)	
(71)	
(72)	
(73)	
(74)	
(75)	
(76)	
(77)	
(78)	
(79)	
(80)	
(81)	
(82)	
(83)	
(84)	
(85)	
(86)	
(87)	
(88)	
(89)	
(90)	
(91)	
(92)	
(93)	
(94)	
(95)	
(96)	
(97)	
(98)	
(99)	
(100)	

第1章 凸模类零件的编程与加工

1.1 凸模类零件的结构与技术分析

1.1.1 零件图的图样分析

1. 线切割加工工序的合理性

线切割加工工序通常是安排在工件材料机加工及热处理之后,作为零件的最后一道加工工序。如果切割成型之后还要进行其他加工,一定要考虑到是否会引起工件的变形或表面硬度、形状的改变。例如,对某些高灵敏度传感器、弹性元件、微细零件在线切割工序之后还要进行研磨、抛光等设计所要求的后序处理,以进一步提高表面加工质量,消除显微裂纹,提高疲劳寿命。为保证这些后续加工能顺利进行,工件需要在电火花线切割加工后仍保持一定的刚度,即先要将工件切割成封闭的形状、实施研磨、抛光后,再用线切割切成开放的形状。这就意味着必须将一个线切割工序分成两部分来做,中间要加入其他工序,才能满足最终的设计要求。

2. 工件材料和尺寸的要求

电火花线切割加工一般都不能加工绝缘材料和电阻率大的材料;导电性好的材料比导电性差的材料容易加工;淬火后硬材料比退火后软材料容易加工;黑色金属比有色金属容易加工。

被加工的材料导电性要好,其电阻率一般都应小于 $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$,同时在机械物理特性方面还必须适合装夹,如对材料硬度、刚度、塑性等方面的考虑。

特殊材料的加工,还要求其化学性能稳定,不会与水、氧和氢发生剧烈的化学反应,不可燃,不会在加工过程中产生有害气体。例如,对金属铍的加工,必须在绝对的安全生产条件下进行,保证对废气、废液、废渣排放的严格控制。

玻璃、陶瓷一类的无机材料,在通常条件下是不能进行放电加工的。尽管有这样的研究报告:通过诱发放电等工艺措施可以对非金属材料进行切割,但与其他已知的加工方法相比效率还是低很多,暂时还不具备常规的应用价值。

常用的冲压模具钢,有时会因锻造、热处理不当而导致内部碳化物组织晶粒粗大,电阻分布不均匀而使电火花线切割加工不稳定,经常会发生断丝现象。

硬质合金、导电陶瓷、聚晶金刚石等复合材料,有时也会因其所采用的黏结剂的导电性质、原材料晶粒的大小、合成后形成的新物相的组织结构不同,而使电火花线切割加工性能有很大的差异。

铝、钛等有色金属的加工,甚至完全不能按照加工钢的工艺参数进行电火花线切割加工。否则,会出现极间短路、进电块过度磨损、电极丝直径损耗加剧、跟踪不好等现象,而导致断丝问题的发生。

另外,工件尺寸的大小必须能够放入机床工作台内。要求加工的轮廓轨迹必须在加工范围内,而且适合装夹、不超过机床额定的最大负荷。当然,电极丝首先要能够顺利穿过工件、所要求加工的轨迹必须是能用圆弧或直线描述的。

3. 加工质量的要求

要满足零件加工质量的要求,首先应根据加工要求合理选用线切割机床的类型。

(1)高速走丝电火花线切割机床一般能加工表面质量 $Ra \leq 2.5 \mu\text{m}$,加工尺寸误差 $\Delta \leq \pm 0.01 \text{ mm}$ 。凡加工要求在这个范围的,都应首选高速走丝电火花线切割机床。因为此类机床加工过程消耗低,加工成本低,特别经济。

(2)低速走丝电火花线切割机床的加工表面粗糙度 $Ra \leq 0.5 \mu\text{m}$,加工尺寸误差都能控制在 $\pm 0.005 \text{ mm}$ 之内。所以,凡加工质量要求较高的零件,都应考虑选用低速走丝电火花线切割机床加工。

(3)有不少零件,加工要求 $Ra = 0.5 \sim 1.5 \mu\text{m}$,加工尺寸误差 $\Delta = \pm (0.01 \sim 0.005) \text{ mm}$,用普通的高速走丝电火花线切割机床难于达到,用精密低速走丝电火花线切割机床又感到加工费用太高。此时,可选用经济型的低速走丝电火花线切割机床或具有多次切割功能的高速走丝电火花线切割机床(即所谓的中走丝电火花线切割机)。

加工时,在保证加工表面质量要求的同时,还应兼顾切割速度。过分追求加工表面质量,会严重影响加工速度。表 1-1 所示的参数是低速走丝电火花线切割机床在切割 70 mm 厚的工件时,不同粗糙度要求下的切割速度。

表 1-1 加工速度的要求

$Ra/\mu\text{m}$	0.45	0.6	0.8	2.0
$v_{\text{cut}}/(\text{mm}^2/\text{min})$	37	50	62	140

4. 不同粗糙度要求下的切割速度

与其他的加工方法相比,电火花线切割加工的速度尽管在不断提升,但仍然很慢,使用者总是希望加工能进行得更快些。高速走丝线切割机床通常的加工速度在 $40 \sim 120 \text{ mm}^2/\text{min}$ 之间,低速走丝线切割机床在 $60 \sim 180 \text{ mm}^2/\text{min}$ 之间。速度上的差异,取决于对粗糙度与精度的不同要求,也和机床的不同生产年代、不同的机床品牌、不同的加工对象、工件材料的物理特性以及工件几何形状有关。

从表 1-2 可以看出,在粗糙度不变的情况下,最大的切割速度出现在工件厚度 $50 \sim 70 \text{ mm}$ 之间,在具备良好冲液的条件下,低速走丝线切割的速度要比高速走丝高得多,加工表面粗糙度也好一些。

表 1-2 常用电极丝材料的性能

材料	适用温度/ $^{\circ}\text{C}$		伸长率 /%	抗张力 /MPa	熔点 / $^{\circ}\text{C}$	电阻率 / $(\times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm})$	备份
	长期	短期					
钨 W	2000	2500	0	1200~1400	3400	0.612	较脆
钼 Mo	2000	2300	30	700	2600	0.0472	较韧
钨钼 W50Mo	2000	2400	15	1000~1100	3000	0.532	脆韧适中

注:电阻率为 0°C 时的值。

在某些特殊的应用场合,需要机床以最大的加工速度来进行切割,而不考虑表面粗糙度以及变质层的厚度,如下料、直接切割出零件以及多次切割中的粗加工等,目前高速走丝线切割机床的最大切割速度可以达到 $200 \text{ mm}^2/\text{min}$,而低速走丝线切割机床有的则可达 $500 \text{ mm}^2/\text{min}$ 。但

是,对于常规的冲压模具来说,实际需要的并不一定是最大的切割速度,而是保证刃口质量前提下的综合加工速度。

5. 小圆角要求

线切割所能加工出的最小圆角,理论上等于丝的半径加上最后一次加工所包含的放电间隙,如图1-1(a)所示。最小圆角在这里指的是最小内圆角,而外圆角没有限制。

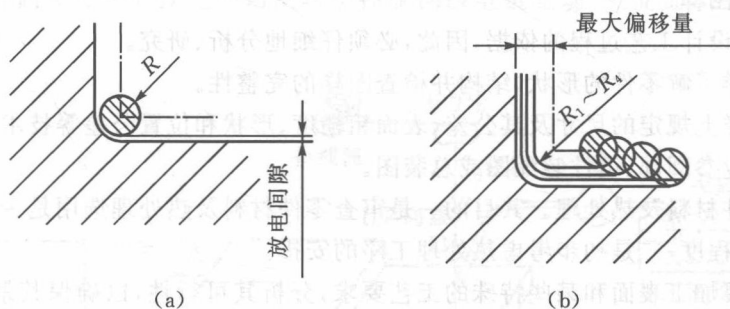


图1-1 丝径、偏移量与最小圆角的关系

在编程时还要检查偏移量是否大于最小圆角半径,如图1-1(b)所示。最大偏移量为电极丝的半径、各次加工余量和末次放电间隙之和,如果大于图样上要求的最小半径,就会产生根切,影响工件上的圆角。

电极丝的直径决定了所能够切割出的最小圆角,越细的电极丝能够加工出越小的内圆角。但是,细丝所能够承受的加工电流很小、选择细丝的代价是大幅降低加工速度。所以,为解决含有大量圆角轮廓的加工速度问题,出现了这样两种实用方案:

(1)多次切割编程中,把每次切割的轮廓分开编程,每次都按最小圆角选取,以获得丝径可能达到的最小加工圆角。目前已有很多CAM软件已经具备这种功能,能够自动生成具有相同圆角、不同偏移量的多次切割轨迹,避免人工改变圆角多次编程的麻烦。

(2)利用机床自动化程度高或自动找正重复精度高的特点,采用两套送丝机构,用双丝来进行加工。粗加工用粗丝,精加工用细丝;用细丝可以获得更小的圆角,粗丝则兼顾了粗加工时的切割速度。

另外,由于电极丝的柔性,在放电力作用下产生弯曲,导致实际加工出的轮廓偏离理论轨迹,圆角半径越小误差越大,尤其是当工件的厚度加大了,误差会更加明显,如图1-2所示。

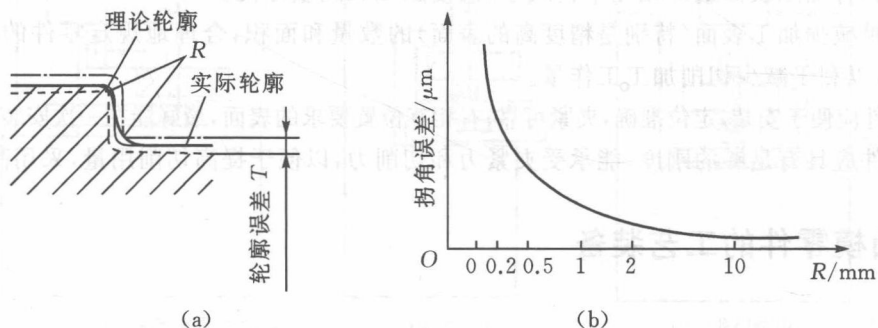


图1-2 拐角误差与圆角半径 R 的关系

1.1.2 零件的结构工艺性分析

在制定零件的机械加工工艺规程之前,要对零件进行深入细致的工艺分析。

零件的工艺分析是从加工制造的角度对零件进行分析,主要包括零件的图样分析和零件的结构工艺性分析两方面内容。

1. 分析零件图样

零件图样是设计工艺过程的依据,因此,必须仔细地分析、研究。

(1)通过图样了解零件的形状、结构并检查图样的完整性。

(2)分析图样上规定的尺寸及其公差、表面粗糙度、形状和位置公差等技术要求,并审查其合理性,必要时应参阅部、组件装配图或总装图。

(3)分析零件材料及热处理。其目的一是审查零件材料及热处理选用是否合适,了解零件材料加工的难易程度;二是初步考虑热处理工序的安排。

(4)找出主要加工表面和某些特殊的工艺要求,分析其可行性,以确保其最终能顺利实现加工。

通过分析、研究零件图样,对零件的主要工序及加工顺序获得初步概念,为具体设计工艺过程各个阶段的细节打下了必要的基础。

2. 零件的结构工艺性分析

(1)结构工艺性的概念 零件的结构工艺性是指所设计的零件在满足使用要求的前提下,制造的可行性和经济性,它是评价零件结构设计优劣的主要技术经济指标之一。零件切削加工的结构工艺性涉及零件加工时的装夹、对刀、测量和切削效率等。零件的结构工艺性差会造成加工困难,耗费工时,甚至无法加工。

零件的结构工艺性的好与差是相对的,与生产的工艺过程、生产批量、工艺装备条件和技术水平等因素有关。随着科学技术的发展和新工艺的出现及生产条件的变化,零件的结构工艺性的标准也随之变化。

(2)零件结构工艺性

①零件的结构尺寸(如轴径、孔径、齿轮模数、螺纹、键槽和过渡圆角半径等)应标准化,以便采用标准刀具和通用量具,使生产成本降低。

②零件结构形状应尽量简单和布局合理,各加工表面应尽可能分布在同一轴线或同一平面上;否则,各加工表面最好相互平行或垂直,使加工和测量方便。

③尽量减少加工表面(特别是精度高的表面)的数量和面积,合理地规定零件的精度和表面粗糙度,以利于减少切削加工工作量。

④零件应便于安装,定位准确,夹紧可靠;有相互位置要求的表面,最好能在一次安装中加工。

⑤零件应具有足够的刚度,能承受夹紧力和切削力,以便于提高切削用量,采用高速切削。

1.2 凸模零件的工艺装备

1.2.1 电切削加工原理

电火花线切割加工与电火花成型加工一样,都是基于电极之间脉冲放电时的电腐蚀现象。

所不同的是,电火花成型加工必须事先将工具电极做成所需的形状及尺寸精度,在电火花加工过程中将它逐步复制在工件上,以获得所需要的零件。电火花线切割加工则不需要成型工具电极,而是用一根长长的金属丝做工具电极,并以一定的速度沿电极丝轴线方向移动(低速走丝是单向移动,高速走丝是双向往返移动),它不断进入和离开切缝内的放电区。加工时,脉冲电源的正极接工件,负极接电极丝,并在电极丝与工件切缝之间喷射液体介质;另外,安装工件的工作台,则由控制装置根据预定的切割轨迹控制伺服电机驱动,从而加工出我们所需要的零件。

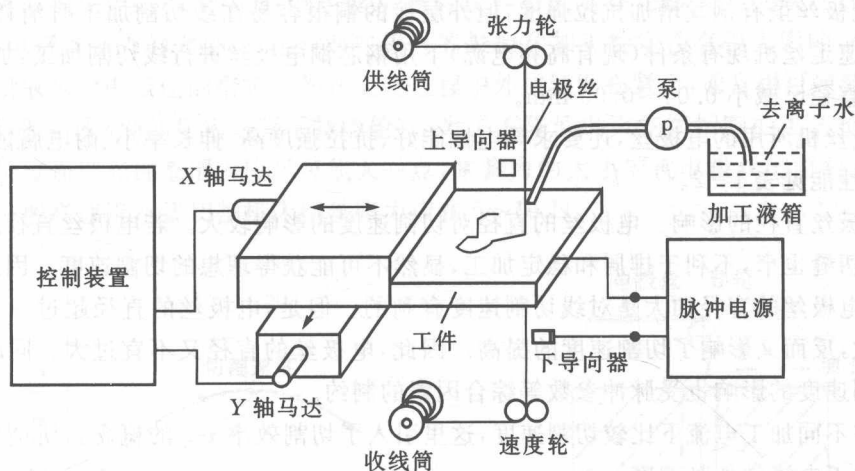


图 1-3 电火花线切割加工原理

1.2.2 线切割机床的结构

机床本体由床身、坐标工作台、运丝机构、丝架(高速走丝机)或立柱(低速走丝机)、工作液箱、附件和夹具等几部分组成。

床身、立柱的结构类型如图 1-4 所示,其中框形结构和 C 形结构适用于中小工件加工,而龙门形结构的布局呈对称型,刚性强,有利于热平衡,适用于大型及精密工件加工。

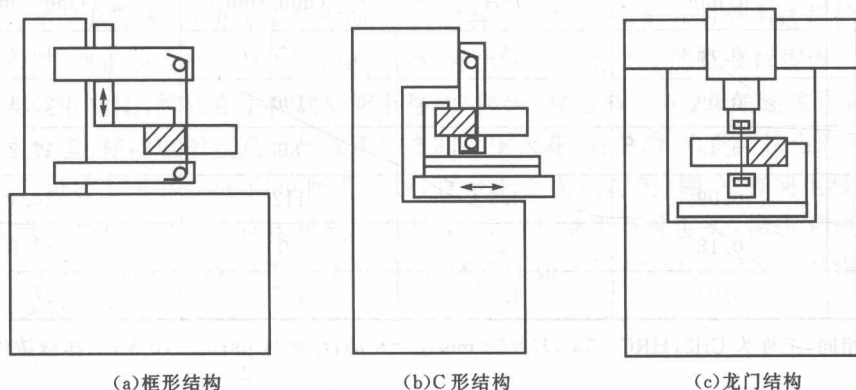


图 1-4 床身的结构类型

1.2.3 快走丝常用丝的选用

(1) 电极丝的种类及性能 高速走丝电火花线切割加工所用的电极丝,也要求导电性能、热学物理性质好、抗拉机械特性好、几何精度高。但和低速走丝不同:低速走丝机是单向走丝不重复使用;而高速走丝机则是在高速往返移动情况下重复使用,不仅承受冲击力大,而且要求抗电腐蚀。要求切割 50000 mm^2 工件后,电极丝直径损耗要在 0.01 mm 之内。

低速走丝机常用的黄铜丝和镀层铜丝抗拉强度低,伸长率大都不适合在高速走丝机上使用。钢芯电极丝虽有钢丝增加抗拉强度,但外层镀的铜很容易在线切割加工时消耗掉。试验发现,在高速走丝机现有条件(现有高频电源)下用钢芯铜电极丝进行线切割加工,加工不到半天,电极丝直径已减小 $0.04 \sim 0.05 \text{ mm}$ 。

高速走丝机所用的电极丝,还要求导电性能好、抗拉强度高、伸长率小、耐电腐蚀的钼丝或钨钼丝,其性能见表 1-2。

(2) 电极丝直径的影响 电极丝的直径对切割速度的影响较大。若电极丝直径过小,则承受电流小,切缝也窄,不利于排屑和稳定加工,显然不可能获得理想的切割速度。因此,在一定的范围内,电极丝的直径加大是对线切割速度有利的。但是,电极丝的直径超过一定程度,造成切缝过大,反而又影响了切割速度的提高。因此,电极丝的直径又不宜过大。同时,电极丝直径对切割速度的影响也受脉冲参数等综合因素的制约。

为了在不同加工电流下比较切割速度,这里引入了切割效率 $v_{ui p}$ 的概念。所谓切割效率,就是单位加工电流的切割速度:

$$v_{ui p} = v_{ui} / I \quad (1-1)$$

式中: I ——加工电流(A)。

例如,切割速度为 $80 \text{ mm}^2/\text{min}$,加工电流 $I = 4 \text{ A}$,则切割效率 $v_{ui p} = v_{ui} / I = 80/4 = 20 \text{ mm}^2/\text{min} \cdot \text{A}$,就是说每安培的切割速度为 $20 \text{ mm}^2/\text{min}$ 。电极丝直径大小与切割速度和切割效率的关系见表 1-3。

表 1-3 电极丝直径大小与切割速度和切割效率的关系

电极丝材料	电极丝直径 d/mm	加工电流 I/A	切割速度 $v_{ui}/(\text{mm}^2/\text{min})$	切割效率 $v_{ui p}/(\text{mm}^2/\text{min} \cdot \text{A})$
Mo	0.18	5	77	15.4
Mo	0.09	4.3	100	25.4
W20Mo	0.18	5	86	17.2
W20Mo	0.09	4.3	112	26.4
W50Mo	0.18	5	90	17.9
W50Mo	0.09	4.3	127	27.2

注:加工条件相同:工件为 Cr12, HRC > 55°, $H = 50 \text{ mm}$; $t_i = 8 \mu\text{s}$; $t_o = 24 \mu\text{s}$; $u_i = 70 \text{ V}$;工作液浓度为 15% 的 DX-1。

(3) 电极丝上丝、紧丝对工艺指标的影响以及调整方法。电极丝的上丝、紧丝是线切割操作的一个重要环节,它的好坏,直接影响到零件的质量和切割速度。如图 1-5 所示,但电极丝

张力适中时,切割速度($v_{wi} = v_f X$ 工件厚度)最大。在上丝、紧丝的过程中,如果上丝过紧,电极丝超过弹性变形的限度,由于频繁地往复弯曲、摩擦,加上放电时遭受急热、急冷变换的影响,可能发生疲劳而造成断丝。高速走丝时,上丝过紧易造成断丝,而且断丝往往发生在换向的瞬间,严重时即使空走也会断丝。

但若上丝过松,由于电极丝具有延伸性,在切割较厚工件时,由于电极丝的跨距较大,除了它的振动幅度较大以外,还会在加工过程中受电压力的作用而弯曲变形,结果电极丝切割轨迹落后并偏离工件轮廓,即出现加工滞后现象(图1-6),从而造成型状与尺寸误差,如切割较厚的圆柱体会出现腰鼓形,严重时电极丝快速运转容易跳出导轮槽或限位槽,而被卡断或拉断。所以,电极丝张力的大小,对运行时电极丝的振幅和加工稳定性有很大影响,故而在上电极丝时应采取张紧电极丝的措施。如在上丝过程中外加辅助张紧力,通常用可逆转电动机,或上丝后再张紧一次(例如采用张紧手持滑轮)。为了不降低电火花线切割的工艺指标,张紧力在电极丝抗拉强度允许范围内应尽可能大一点,张紧力的大小应视电极丝的材料与直径的不同而异,一般高速走丝线切割机床钼丝张力应在5~10 N。

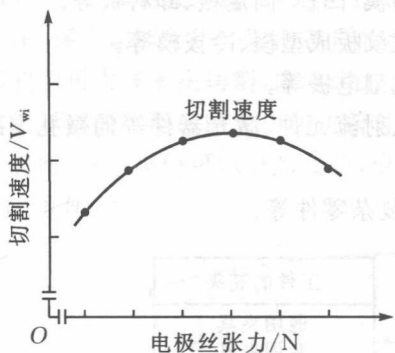


图 1-5 线切割电极丝张力与加工进给速度的关系

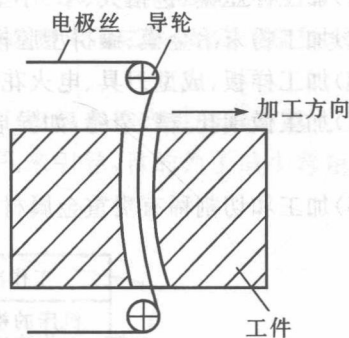


图 1-6 放电切割时电极丝弯曲滞后

1.2.4 工件安装找正

垂直找正块是一长方体,各相邻面相互垂直在0.005 mm以内,用来找台面垂直的方法。其使用方法是:把找正块放置于卡上,注意使找正块与夹具接触好,可来回移动几下找正块。电极丝的找正是从 x 和 y (机床前后方向为 x ,左右方向为 y)两个方向分别进行的。找正 x 方向电极丝垂直,找正块放在夹具上,并使找正块伸出距离在电极丝的有效行程内。接着从电柜上选择微弱放电功能,然后在手控盒功能下移动电极丝靠近找正块,开始速度可以快些,靠近后要动手控盒,移动电极丝直至与找正块之间产生火花,若是沿 X 正向接近找正块,火花在找正块下面,可按 $U+$ 并让 X 向负回退一点,直至上下火花均匀,则 X 方向电极丝垂直已找好, X 向负移开电极丝。 Y 方向电极丝垂直找正,用方尺靠上下锥度头,移动 V 轴使上下两锥度头侧面在同一平面上,然后调整上下导轮(具体方法如上所述)保证钼丝与工作台的垂直度(注意不能再动 V 轴)。

1.3 凸模零件加工工艺设计

1.3.1 线切割基本工艺路线及应用场合

数控电火花线切割加工的工艺路线如图 1-7 所示,可以大致分为如下四个步骤:

- (1)对工件图样进行审核及分析,并估算加工工时。
- (2)工艺准备,包括机床调整、工作液的选配,电极丝的选择及校正,工件准备等。
- (3)加工参数选择,包括脉冲参数走丝速度及进给速度设置与调节。
- (4)程序编制及程序输入。

电火花线切割加工完成之后,需根据加工要求进行表面处理,并检验其加工质量。数控电火花线切割加工方法已在我国得到广泛应用,并在制造业中尤其是在模具制造中发挥了重大作用,其应用领域主要在如下几个方面:

- (1)加工冲压模,包括大、中、小型冲压模的凸模、凹模、固定板、卸料板等。
- (2)加工粉末冶金模、镶拼型腔模、拉丝模、波纹板成型模、冷拔模等。
- (3)加工样板、成型刀具、电火花成型、加工成型电极等。
- (4)加工微细孔、槽、窄缝,如异形孔、喷丝板、射流元件、激光器件等的微孔窄缝以及微型零件。
- (5)加工和切割稀有贵重金属材料以及各种复杂零件等。

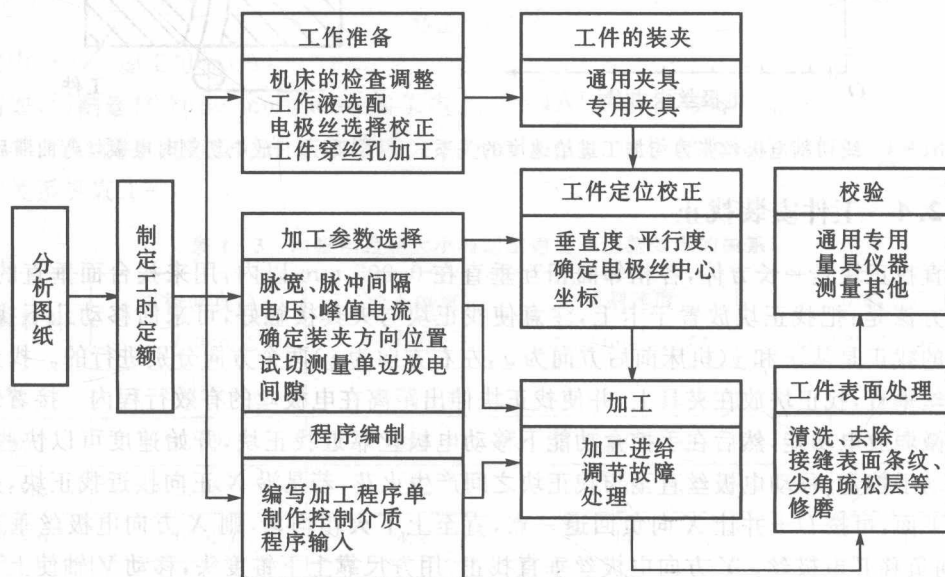


图 1-7 数控电火花线切割加工工艺路线

1.3.2 凸模零件加工工序安排

合理安排线切割工序,对于提高线切割加工生产效率具有重要意义。合理的工序不仅能

减少加工过程中的人为干预,避免因策划不当或是对参数把握不准而带来的停机,而且还可以充分利用线切割机床自动设置加工参数的功能。

(1)先易后难,自我确认 以多工位级进模具的模板加工为例,先从容易的、对误操作敏感度低的地方开始。比如先加工固定板,再加工凹模板,最后加工卸料板,这样操作者比较容易建立起信心。因为,对于用卸料板导向的级进模来说,它的重要性与模具上其他零件的关联度最大。如果一开始就加工卸料板,对设定的偏移量与实际值之间的偏差把握不准,或者对机床的状态不清楚,一旦切出的型腔与凸模配合的间隙过大,这块模板就会彻底报废。相比之下对固定板要求的间隙就宽容得多,即便加工中有些失误也能挽回。

在同一块模板的加工过程中,也可以本着这种先易后难的原则。从简单的、容易在机测量的、公差带较宽的中小孔开始切割;在确认了设定的参数是正确的之后,便可以从容地完成后面所有型腔的加工。

(2)充分利用自动穿丝功能 使用带有自动穿丝功能的线切割机进行多型腔模板加工时,要根据型腔的大小来决定断口的留量,在无人看管的情况下不切断废料,加工到暂停点,自动剪丝后,走到下一个型腔继续加工,直至完成所有的型腔。然后,在有人监视的情况下,重新启动或调用程序,逐个切断并一一取出各自的废料。当全部废料取出之后,机床又能够自动进行后续所有型腔的再次或多次切割,恢复到无人监视状态。

断口的留量取决于型腔的大小和切断时的轨迹方向。废料自重产生的弯矩越大,断口应留得越长。有时,一个型腔可以分为几段,由不同的穿丝孔来引导,目的是为了减少弯矩的不利影响,如图1-8所示。

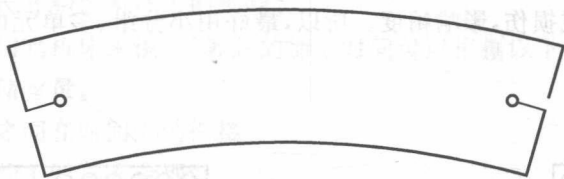


图1-8 对大型腔进行分段加工

如果设计了专门的切断程序,穿好丝之后,就可以用最短路径,沿相反方向将废料切断,这时的断口保留1 mm长度或更短一些即可。如果顺着原有程序路径重新回到暂停点,就必须保证要切掉的废料与型腔之间必要的连接刚度,才能使切缝的宽度不会因材料变形而发生太大的变化,电极丝就可以不带电或仅以弱规准加工至暂停点,等候切断指令。

(3)根据工艺特点,选择不同的加工排列 成批加工凸模或零件时,两种走丝形式的线切割机由于它们对冲液方式的依赖程度的不同,使得对加工顺序的排列有所不同。

高速走丝线切割加工时,由于不需过多地考虑冲液方式是否得当,加工顺序的排列显得不是十分紧要,如图1-9(a)所示散热器翅片电极的加工。先把一个方向做好,取出废料,再通过转动夹具 90° ,完成另一个方向上的切割。

低速走丝线切割加工如果也像图1-9(a)那样来加工就会有问题。在第一个方向上,切割会因上下喷水嘴与柱面之间封不住水,而丧失了压力冲液的条件,加工速度会成倍地降低,尤其是对非浸液式的加工;在转动了 90° 后的第二个方向上,同样不能实施高压冲液,因为压力过高会使靠近上下水嘴的电极片弯曲。

图 1-9(b) 是为适应低速走丝线切割对冲液条件的苛求而采取的加工顺序。在工件毛坯上先用其他工艺手段加工出一对平行表面，厚度比最终尺寸增加一个变形修正量和若干次修切的加工余量，在调转 90° 之后，这对平行表面无需大电流再次粗切，也没有排屑问题。另外，为防止喷水嘴与工件发生碰撞，电极根部在铣削加工时要向后多移出一段距离。这样，工件装夹好后喷水嘴就能贴近工件表面，用上下冲液方式，先加工出带有弧形的轮廓，再加工出梳型轮廓，使得第一次切割时就能用上较高的冲液压力、又不至于使高压冲液对第二次切割造成影响。

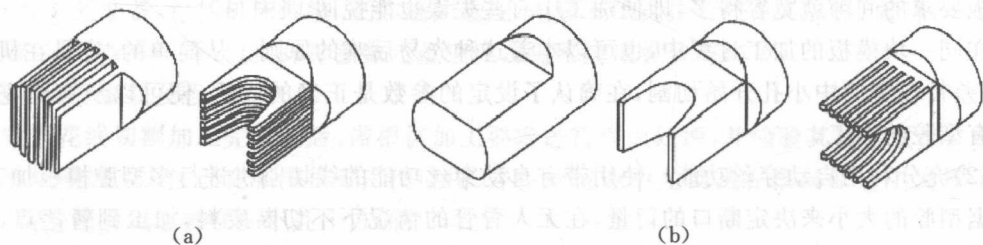


图 1-9 两类线切割机床采用的不同加工顺序

又如，批量加工消耗性的电机冲头。用高速走丝线切割可以加工一批，切断一批，最后用磨削的办法统一进行断口处理(图 1-10(a))。用带有自动穿丝的低速走丝线切割机床加工，务必不要使一组冲头的数量太多。因为，如果加工中排列的冲头数量太多，一旦中途出现断丝，就得回到起始点，重新穿丝后再次切割。由于材料变形、冲液的干扰作用，多次放电会对已加工好的冲头表面造成损伤，影响精度。所以，最好用小分组、多单元的方式来进行加工排列(图 1-10(b))。

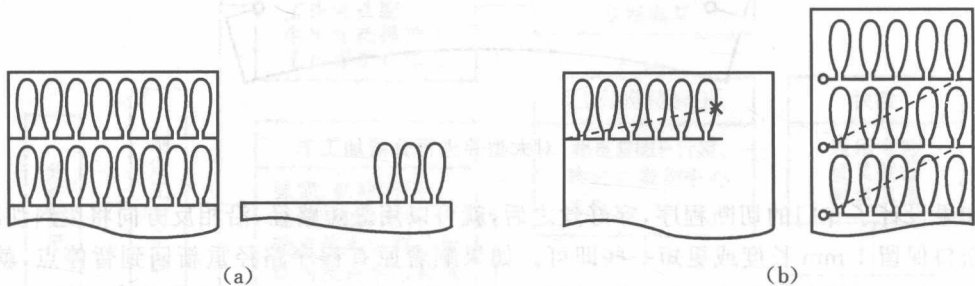


图 1-10 两种不同冲头的加工排列

(4) 规模生产时，编程与加工作业分离 一人多机生产时，编程和加工作业必须加以分离，这样可以提高各自的专业技能，减少出错的概率。模具零件专业化生产时，编程与机床操作混合作业如同驾车时打手机，肯定会增加运行的风险。

(5) 提高机床无人化生产时的加工成功率 无人化生产时，尽可能选择轮廓简单、切割面积大、形状单一、具有一定批量的工件进行。对于复杂的级进模具的模板加工而言，如果上面的型孔小而多，每个轮廓的加工时间不长，最好是在有人监视的情况下完成第一遍的切割，取出所有的废料之后，再恢复到无人操作状态。

尽管也可以在每个轮廓上留下暂停点，最后在有人的情况下一并切断。但是，这样等于多

增加了一次穿丝、上下水、启动、停止所需要的辅助时间,总的算下来未必省时。尤其是当工件上穿丝孔的位置有偏差,不能保证自动穿丝100%的成功率,无人化加工过程被中断的事是经常发生的,从而导致了计划完成的时间后延,影响模具的交货期。

(6)减少线切割的过度加工 既然电火花线切割加工的速度慢,那么零件加工能用其他工艺完成的就尽量不要用电火花线切割加工,能用一次切割完成的就不要用多次切割。

以凹模镶块为例,其外形既有精确的配合尺寸,又有很高的几何精度,用精密磨削加工要比用电火花线切割机直接加工效率高得多。要保证型腔与外形有很高的位置精度,除了用一次装夹和同时加工出内外形外,还有很多其他的工艺方法也能实现,效率更高。

电火花线切割加工断口应尽可能留在平面上,便于用磨削方式来快速处理断口。

进行凹模型腔加工时,先切割出落料斜度,再用多次切割精修刃口,尽量减小精加工面积。对于同一轮廓线上不需要多次切割的线段,宁可编程时麻烦些,改变一下修切时的轨迹,也不要对没用的线段作无谓的精加工。

(7)压缩辅助时间 花费在线切割辅助时间上的主要作业有:装夹找正、程序读取、参数确认、废料取出、穿丝剪丝、液面升降、异常情况处理等。其中装夹找正所用的时间最长,尤其是对新手而言。为减少装夹找正的时间,选择适用的夹具、在机外做好预先的调定工作,能大大提高线切割工序的生产效率。

(8)加强对加工时间的预测与控制 根据切割轨迹的长度,在编程时就可以估算出总的加工时间。

对于高速走丝线切割机床而言,知道了总的时间不仅能预计在多长的时间内完成,还可以估算电极丝的损耗对尺寸精度所产生的影响。

对于低速走丝线切割机床来说,了解总的加工时间可以根据以下几个方面进行:

①是否有足够的储丝量。

②各个加工任务之间在时间上的衔接。

③针对每项任务的工时分配合理性。

④在当前运行周期内对机床安排例行维护与必要的保养。

从而有利于对机床的工作状态监视、运行成本核算和模具工期控制等。

总之,任何影响加工周期的因素,都要认真分析,予以控制。如果在加工策划阶段就能系统地、并行地考虑上述有关问题,必然可以提高线切割加工的工作效率。

1.3.3 凸模零件偏移量的确定

由于电极丝的直径和放电间隙的存在,加工时电极丝的运动轨迹都必须偏离工件轮廓一定距离,才能保证加工结果符合设计要求。另外,模具加工需要在不同的模板上根据相同的轮廓加工出不同间隙的型腔,可以按理论轨迹编程、通过直接修改偏移量来满足这一要求。

对于高速走丝线切割加工来说,偏移量(编程时的补偿量)通常为电极丝的半径再加上0.01 mm的放电间隙,习惯上比较固定。放电间隙虽受加工规准、工作液状态以及工件材料等物理因素影响,但在编程时一般都不考虑,常设定为一个固定值。偏移量的更改主要是为了弥补较长时间加工后,正常损耗所导致丝径的减小。

对于低速走丝(含中走丝)线切割加工来说,加工规准、冲液状态、工件材料、多次切割时的预留量,以至放电时的热影响都会对偏移量的设置起作用。标准加工状态下的偏移量,在机床